



普通高校“十三五”规划教材

电子工艺基础(第3版)

主 编 付 蔚 童世华
副主编 王大军 王炳鹏 郑方雄



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



配有课件



普通高校“十三五”规划教材

电子工艺基础

(第3版)

主 编 付 蔚 童世华
副主编 王大军 王炳鹏 郑方雄

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了电子产品工艺与实训的相关理论及应用知识,以电子产品的工艺流程为主线,介绍了电子产品设计需要掌握的理论知识、设计方法和步骤。同时介绍了典型电子工艺实训案例,具有很强的操作性。

本书共分6章,包括常用电子元器件的介绍、常用电子测试仪器的原理及应用、绘图原理及PCB制版工艺、元器件的焊接工艺、电子装配工艺、典型电子工艺实训案例,还有4个附录,以供参考。

本书内容全面,实例丰富,可作为高等院校电子产品工艺与实训类实验课程教材,也可作为自学者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子工艺基础 / 付蔚,童世华主编. -- 3版. -- 北京 : 北京航空航天大学出版社, 2018.9
ISBN 978-7-5124-2813-3

I. ①电… II. ①付… ②童… III. ①电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 195064 号

版权所有,侵权必究。

电子工艺基础(第3版)

主 编 付 蔚 童世华
副主编 王大军 王炳鹏 郑方雄
责任编辑 蔡 喆 周世婷

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:15.25 字数:390千字

2019年1月第3版 2019年1月第1次印刷 印数:3 000册

ISBN 978-7-5124-2813-3 定价:39.00元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

“电子工艺基础”是高等院校电子信息类专业及相关专业的一门非常重要的实践性很强的技术基础课程,是工程训练中的重要环节之一。随着当前电子技术的飞速发展和其在国民经济各行各业中的日益渗透,电子工业已成为国民经济的支柱产业。目前,社会对人才的需求,尤其是对具有创新性、实践性人才的需求越来越高,因此,要求我们在工科学生的培养方面必须加强实践环节的教学,使学生从在校期间开始熟悉电子元器件,了解电子工艺的一般知识,掌握最基本的装焊操作技能,接触电子产品的生产过程。这样,既有利于今后的专业实验、课程设计、毕业设计等,也提高了学生的实践动手能力,为毕业后从事实际工作奠定良好的基础。

本书是根据国家大力恢复工业制造业、推动高校生产实习基地建设、提高生产实习教学质量的文件精神以及结合编者多年实践教学经验编写的。全书共6章,以电子产品整机制造工艺为主线,分别介绍了常用电子元器件、常用电子测试仪器的原理及应用、绘图原理及PCB制版工艺、元器件的焊接工艺、电子装配工艺、典型电子工艺实训案例,还有4个附录,以供参考。通过本书的学习,能够帮助读者掌握电子产品生产、制作的基本技能,了解电子产品先进的生产工艺和生产手段。

本书的特色主要有如下两个方面:一、系统性:系统地以电子产品整机制造工艺为主线,结合常用元器件、常用测试仪,介绍PCB制版工作、焊接工艺和电子装配工艺,并以生动的实训案例巩固学生所学理论知识。二、实用性:本书已经在重庆、四川、广东、湖南等省市高职院校及本科院校开展了6年的实践教学。作为电子工艺基础、电装实训、电子工艺实训、课程设计/综合设计/毕业设计等理论与实践课程的指导用书,较好的发挥示范作用。

本书可作为高等院校电子信息类专业及相关专业的电子工艺实训教材或教学参考书,同时也可供职业教育、技术培训及有关技术人员参考。

本书由重庆邮电大学付蔚、童世华担任主编,王大军、王炳鹏、郑方雄担任副主编。第1章和第2章由付蔚编写;第3章由王大军、王炳鹏编写;第4章由郑方雄编写;第5章和第6章由童世华编写。研究生刘均、何雨、李克宁、赵红莹、张继柱、杨鑫宇、徐赞参与了部分资料收集工作,吕霞付、罗萍、申国勇、陈绍明老师在本书编写过程中,提出了很多宝贵意见,在此表示诚挚的谢意。本书在编写过程中,参阅了相关同类教材和资料,在此向其编者表示感谢。

由于电子工艺技术发展较快,加上编者的经验有限、时间仓促,书中难免有错误和不足之处,敬请各位读者批评指正。

编 者
2018年4月

目 录

第 1 章 常用电子元器件的介绍	1
1.1 电阻元件	1
1.1.1 电阻的分类	1
1.1.2 电阻的命名方法及符号	2
1.1.3 电阻的性能参数	4
1.1.4 阻值和误差的标注方法	6
1.1.5 常用电阻器	7
1.1.6 电阻的选用	12
1.2 电容元件	13
1.2.1 电容的分类	13
1.2.2 电容器的命名及符号	15
1.2.3 电容器的标注方法	16
1.2.4 电容器的性能参数	17
1.2.5 常用电容的特性	19
1.2.6 电容器的选用	21
1.3 电感元件	22
1.3.1 电感的符号、单位及命名方法	23
1.3.2 电感的作用及分类	23
1.3.3 电感的主要特性参数	24
1.3.4 常用电感线圈	25
1.3.5 常用电感的型号和规格	25
1.3.6 电感的选用	26
1.4 变压器	27
1.4.1 变压器的分类	27
1.4.2 电源变压器的特性参数	27
1.5 半导体分立元件	28
1.5.1 二极管的识别与检测	28
1.5.2 三极管	32
1.5.3 场效应管	36
1.6 光 耦	40
1.7 光电管	40
1.7.1 真空光电管	40
1.7.2 充气光电管	41

1.7.3 光电倍增管	41
1.8 机电元件	42
1.8.1 继电器	42
1.8.2 开关	46
1.9 集成电路	49
1.9.1 集成电路的分类	49
1.9.2 集成电路的命名	49
1.9.3 常用集成电路介绍	50
1.9.4 集成电路的检测方法	56
1.10 微处理器	56
1.10.1 常用单片机	56
1.10.2 ARM 系列单片机	57
1.10.3 看门狗电路	58
思考题	59
第2章 常用电子测试仪器的原理及应用	60
2.1 万用表的应用	60
2.1.1 指针式万用表	60
2.1.2 数字式万用表	61
2.2 示波器的原理及应用	63
2.2.1 模拟示波器	63
2.2.2 数字示波器	66
2.2.3 数字示波器的使用	66
2.3 信号发生器的应用	71
2.3.1 信号发生器的分类和主要质量指标	71
2.3.2 信号发生器的使用	72
2.4 直流稳压电源的原理及应用	76
2.4.1 直流稳压电源简介	76
2.4.2 直流稳压电源的使用	77
2.5 逻辑笔的应用	81
思考题	82
第3章 绘图原理及 PCB 制版工艺	83
3.1 Altium Designer 内容简介	83
3.2 Altium Designer 简明使用方法	84
3.2.1 Altium Designer 的安装	84
3.2.2 新建工程	84
3.2.3 原理图设计	84
3.2.4 PCB 设计	90

3.2.5 快捷键说明	92
3.3 PCB 设计规则	94
3.3.1 PCB 设计的一般原则	94
3.3.2 PCB 设计中应注意的问题	97
3.3.3 PCB 及电路抗干扰措施	98
3.4 元器件的封装	99
3.4.1 定 义	99
3.4.2 元器件的封装形式	100
3.4.3 Altium Designer 元件封装库总结	102
3.5 PCB 制版工艺	103
3.5.1 PCB 的发展历史	104
3.5.2 PCB 的特点	104
3.5.3 PCB 的种类	105
3.5.4 PCB 的制造方法	105
3.5.5 PCB 的制造工艺	106
3.5.6 小工业制版流程	106
思考题	112
第 4 章 元器件的焊接工艺	113
4.1 元器件的手工焊接技术	113
4.1.1 手工焊接原理	113
4.1.2 助焊剂的作用	114
4.1.3 焊锡丝的组成与结构	114
4.1.4 电烙铁的基本知识	115
4.1.5 手工焊接	116
4.2 SMT 流程	120
4.2.1 焊膏印刷	120
4.2.2 贴 片	121
4.2.3 焊 接	121
4.2.4 SMT 生产中的静电防护技术	123
思考题	128
第 5 章 电子装配工艺	129
5.1 工艺文件	129
5.1.1 工艺文件的作用	129
5.1.2 工艺文件的编制方法	129
5.1.3 工艺文件格式填写方法	130
5.2 电子设备组装工艺	131
5.2.1 概 述	131

5.2.2	电子设备组装的内容和方法	131
5.2.3	组装工艺技术的发展	132
5.2.4	整机装配工艺过程	132
5.3	印制电路板的插装	133
5.3.1	元器件加工(成形)	133
5.3.2	印制电路板装配图	134
5.3.3	印制电路板组装工艺流程	134
5.4	连接工艺和整机总装	134
5.4.1	连接工艺	134
5.4.2	整机总装	137
5.5	整机总装质量的检测	137
5.5.1	外观检查	137
5.5.2	性能检查	137
5.5.3	出厂试验	138
	思考题	138
第6章	典型电子工艺实训案例	139
6.1	半导体收音机	139
6.1.1	无线电波基础知识	139
6.1.2	无线电信号的传送与接收	140
6.1.3	怎样装调收音机	142
6.2	万用表	162
6.2.1	万用表原理与安装实习的目的与意义	162
6.2.2	指针式万用表的结构、组成与特征	162
6.2.3	指针式万用表的工作原理	164
6.2.4	MF47型万用表安装步骤	167
6.3	51单片机开发板	182
6.3.1	51单片机简介	182
6.3.2	单片机开发板简介	185
6.3.3	硬件设计	185
6.3.4	软件编程设计	192
6.3.5	产品组装及测试	192
	思考题	195
附录A	HX108-2型7管半导体收音机原理、装配、调试实例	196
A.1	HX108-2型7管半导体收音机电路原理	196
A.2	HX108-2型7管半导体收音机电路原理图	196
A.3	电子元器件的识别、质量检验及整机装配	198
A.4	整机调试	201

A. 5	故障检测	202
A. 5. 1	故障排除的一般方法	202
A. 5. 2	HX108 - 2 型超外差式收音机一般故障排除方法	203
附录 B	TF2010 型手机万能充电器原理、装配、调试实例	205
B. 1	TF2010 型手机万能充电器电路原理	205
B. 2	TF2010 型手机万能充电器电路原理图	205
B. 3	TF2010 型手机万能充电器装配图	205
B. 4	TF2010 型手机万能充电器的安装及使用说明	207
附录 C	51 单片机开发板	209
附录 D	常用电工与电子学图形符号	219
参考文献	234

第 1 章 常用电子元器件的介绍

近年来,随着电子产品的飞速发展,智能手机、PC 机等电子产品走进了千家万户,日益充斥着人们的生活,影响和改变着人们的生活方式。然而电子产品的设计制作离不开基本的电子元器件,本章主要对常用的电子元器件进行介绍,主要包括:

- 电阻元件,包括电阻的作用、分类、命名、性能参数、选用等。
- 电容元件,包括电容的作用、分类、命名、性能参数、选用等。
- 电感元件,包括电感的作用、分类、命名、性能参数、选用等。
- 变压器的分类及特性参数。
- 半导体分立元件,包括二极管、三极管及场效应管。
- 光耦、光电管、机电元件的认识。
- 集成电路,主要包括其分类、命名、封装与引脚识别等。
- 微处理器简介,包括常用的单片机、看门狗电路等。

通过本章的学习,读者可以熟悉和了解基本电子元器件的识别、性能与选用。

1.1 电阻元件

1.1.1 电阻的分类

① 按电阻的阻值特性分类:固定电阻、可调电阻和特种电阻。固定电阻的电阻值是固定不变的,阻值的大小就是它的标称值,固定电阻器的文字符号常用字母 R 表示。阻值可变的电阻为可调电阻。特种电阻的阻值会根据一些外界因素的变化而变化,如受光影响的电阻称为光敏电阻;受外界压力影响的电阻称为压敏电阻;还有热敏电阻、气敏电阻、电敏电阻等。

② 按制造材料分类:金属膜电阻、碳膜电阻、水泥电阻、线绕电阻、薄膜电阻等。








③ 按用途分类:限流电阻、降压电阻、分压电阻、保护电阻、启动电阻、取样电阻、去耦电阻、信号衰减电阻等。

④ 按安装方式分类:插件电阻、贴片电阻。贴片电阻按形状分有两种:长方形的和圆柱形。

⑤ 按功率分类:1/16 W、1/8 W、1/4 W、1/2 W、1 W 等。

图 1-1 为电阻的分类,表 1-1 为常用电阻的外形和特点。

表 1-1 常用电阻的外形和特点

名称	碳膜电阻 (RT)	金属膜电阻 (RJ)	线绕电阻 (RX)	金属氧化膜 (RY)	水泥电阻	片状电阻	集成电阻
外形							
结构	陶瓷管架上高温沉积碳氧化合物电阻材料,通过厚度和刻槽控制阻值,表面涂有保护漆	陶瓷管架上用真空蒸发或烧渗法形成金属膜(镍铬合金),表面涂有保护漆	合金丝(康铜、锰铜或镍铬合金)绕在陶瓷管支架上,表面涂有保护漆	金属盐溶液在陶瓷管架上水解沉积成膜而成	将电阻线绕在耐热瓷片上,或用氧化膜电阻等,用特殊不燃性耐热水泥填充密封而成	采用高稳定性金属膜在陶瓷基体上蒸发而成	采用高稳定性金属膜在陶瓷基体上蒸发或溅射而成的高精度网络
阻值及功率	1 Ω~10 MΩ 0.125~10 W	1 Ω~620 MΩ 0.125~5 W	0.1 Ω~5 mΩ 0.125~500 W	1 Ω~1 mΩ 25 W~50 kW	1 Ω~200 kΩ 0.5~50 W	1 Ω~1 MΩ 1/32~3 W	51 Ω~33 kΩ
特点	稳定,电压频率影响小,负温度系数,价廉	耐热,稳定性和温度系数都优于碳膜电阻,体积小,精度高,可达0.5%~0.05%	噪声低,线性度高,温度系数小,稳定度高,工作温度可达315℃	抗氧化性和耐高温,高温下热稳定性优于金属膜电阻	具有耐高功率、散热性好、稳定性高等特点	体积小,精度高,稳定性好,温度系数小,高频特性好	精度高、稳定性好、噪声低、温度系数小、高频特性好
应用	民用低挡电子产品	要求较高的电子产品	大功率、高稳定性、高温工作场合	补充金属膜大功率及低阻值部分	用于电源和功率电路中的分流和降压	计算机、通信及家用电器、精密仪器仪表等	计算机、仪器、仪表及特殊要求电路

1.1.2 电阻的命名方法及符号

根据国家标准 GB 2470—1995 的规定,电阻器及电位器的型号由 4 个部分组成,如表 1-2 所列。

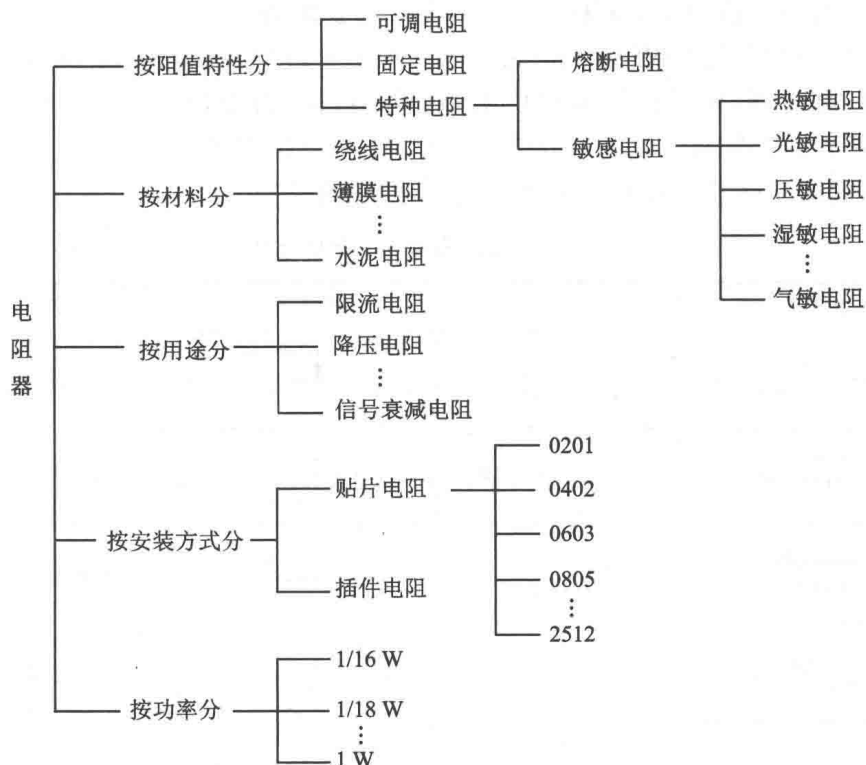


图 1-1 电阻的分类

表 1-2 电阻(位)器的型号命名法

第1部分		第2部分		第3部分		第4部分	
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示特征		用数字表示序号	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
R	电阻器	T	碳膜	1,2	普通	无固定	额定功率
W	电位器	H	合成膜	3	超高频	标识	阻值
		P	硼碳膜	4	高阻		允许误差
		U	硅碳膜	5	高温		精度等级等
		C	沉积膜	7	精密		
		I	玻璃釉膜	8	电阻器—高压		
		J	金属膜	9	电位器—特殊函数		
		Y	氧化膜	G	高功率		
		S	有机实心	T	可调		
		N	无机实心	X	小型		
		X	线绕	L	测量用		
		R	热敏	W	微调		
		G	光敏	D	多圈		
		M	压敏				

【例 1】有一电阻器为 RJ71-0.25-4.7 k I 型,则其表示含义如下:

R—主称,电阻;J—材料为金属膜;7—分类,为精密型;1—序号为 1;0.25—额定功率为

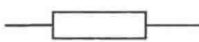

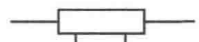
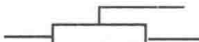

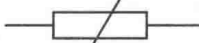


1/4 W; 4.7 k—标称阻值为 4.7 k Ω ; I—允许误差为 I 级, $\pm 5\%$ 。

【例 2】 有一电阻器为 WSW-1-0.5-4.7 k Ω $\pm 10\%$ 型, 则其表示含义如下:

W—主称, 电位器; S—材料, 为有机实心; W—特征, 为微调型; 1—品种, 为非紧锁型; 0.5—额定功率为 0.5 W; 4.7 k Ω —标称阻值; $\pm 10\%$ —允许误差。

常用电阻的图形符号如表 1-3 所列, 更多符号见附录 D。

表 1-3 常用电阻器的图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	固定电阻		可调电位器
	带抽头的固定电阻		微调电位器
	可调电阻(变阻器)		热敏电阻
	微调电阻		光敏电阻

1.1.3 电阻的性能参数

在电阻的使用中, 必须正确应用电阻的参数。电阻的性能参数包括标称阻值及允许偏差、额定功率、极限工作电压、电阻温度系数、频率特性和噪声电动势等。对于普通电阻使用中常用的参数是标称阻值、允许偏差和额定功率。

1. 标称阻值

标称在电阻器上的电阻值称为标称值。单位为 Ω 、k Ω 、M Ω 。标称值是根据国家制定的标准系列标注的, 不是生产者任意标定的, 不是所有阻值的电阻都存在。

标称阻值组成的系列称为标称系列, 表 1-4 为固定电阻的标称阻值系列, 电阻的标称阻值应符合表列数值之一(或表列数值再乘以 10^n , 其中 n 为正整数或负整数)。

表 1-4 常用固定电阻的标称系列

系列代号	允许误差	电阻系列标称值																						
E ₂₄	I 级 $\pm 5\%$	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
E ₁₂	II 级 $\pm 10\%$	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2											
E ₆	III 级 $\pm 20\%$	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8																	

2. 允许误差

电阻器的实际阻值对于标称值的最大允许偏差范围称为允许误差, 它直接以允许偏差的百分数表示。常用电阻的允许误差有 5 个等级, 如表 1-5 所列。

表 1-5 常用电阻允许误差等级

允许误差/%	±0.5	±1	±5	±10	±20
等级	005	01	I	II	III
文字符号	D	F	J	K	M
系列代号	E192	E96	E24	E12	E6

目前生产的固定电阻多为 I 级或 II 级, III 级已甚少见, 一般电子线路采用 I 级或 II 级电阻已能满足要求, 某些要求高的线路(如分压器、测试仪表)则应采用精度更高的电阻。

3. 额定功率

指在规定的环境温度下, 假设周围空气不流通, 在长期连续工作而不损坏或基本不改变电阻器性能的情况下, 电阻器上允许的消耗功率。常见的功率有 1/16 W、1/8 W、1/4 W、1/2 W、1 W、2 W、5 W、10 W。在电阻的使用中, 应使电阻的额定功率大于电阻在电路中实际功率值的 1.5~2 倍以上。

电路图中, 若不进行说明, 电阻的额定功率一般为 1/16~1/8 W, 较大功率时用文字标注或用符号表示。

表 1-6 列出电阻额定功率系列, 图 1-2 描述电阻额定功率的符号表示。

表 1-6 电阻额定功率系列

种类	电阻额定功率系列/W									
线绕电阻	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	3	4	8	10
	16	25	40	50	75	100	150	250	500	
非线绕电阻	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	5	10	25	50 100

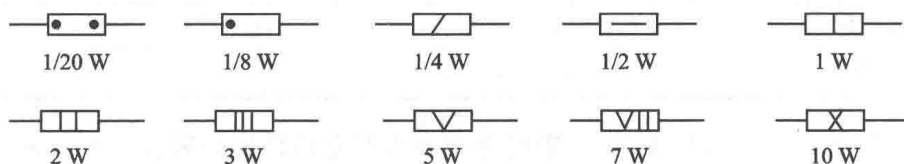


图 1-2 电阻额定功率的符号表示

4. 电阻的温度系数

当温度每变化 1 °C 时, 阻值的相对变化叫做电阻的温度系数。一般手册上给出的电阻温度系数是在使用条件下, 某一温度范围内的平均值, 即:

$$\rho_{iR} = \frac{R_1 - R_2}{R_1(t_1 - t_2)} (1/^\circ\text{C})$$

式中: ρ_{iR} 是电阻的平均温度系数; t_1 、 t_2 是规定的两个温度; R_1 、 R_2 分别对应于 t_1 、 t_2 温度时的阻值。温度系数与阻值大小有关, 阻值越大, ρ_{iR} 也越大。碳膜电阻有负的温度系数, 温度升高, 阻值减小, 而其他类型电阻的温度系数有些为正, 有些为负。

5. 电阻的噪声

由于电阻器本身的结构和热效应作用, 通过电流时, 电阻器两端会产生一定的噪声电压。当信号很微弱时, 噪声电压将产生显著的干扰。线绕电阻器的噪声只决定于热噪声, 它仅与阻

值、温度、外界电压的频率有关,可用以下公式表示:

$$U^2 = 4kT\Delta fR$$

式中: U 为热噪声有效电压,单位为 V; T 为绝对温度; $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K,称为波耳兹曼常数; Δf 为外界电压的频带,单位为 Hz。

非线性电阻除了热噪声外,还有电流噪声,这是由于在外加电压作用下,导电微粒间产生不规则的振动,使阻值起伏变化,对电流起了调制作用,这种噪声与外加电压成正比。

常用电阻器的温度系数和噪声电势见表 1-7。

表 1-7 常用电阻器技术特性

名称和型号	额定功率 /W	标称阻值 范围/ Ω	温度系数/ (1/ $^{\circ}\text{C}$)	噪声电势 ($\mu\text{V} \cdot \text{V}^{-1}$)	运用频率
RT 型碳膜电阻	0.05	$10 \sim 100 \times 10^3$	$-(6 \sim 20) \times 10^{-4}$	1~5	10 MHz 以下
	0.125	$5.1 \sim 510 \times 10^3$			
	0.25	$5.1 \sim 910 \times 10^3$			
	0.5	$5.1 \sim 2 \times 10^6$			
	1.2	$5.1 \sim 5.1 \times 10^6$			
RU 型硅碳膜电阻	0.125, 0.25	$5.1 \sim 510 \times 10^3$	$\pm(7 \sim 12) \times 10^{-4}$	1~5	10 MHz 以下
	0.5	$10 \sim 1 \times 10^6$			
	1.2	$10 \sim 10 \times 10^6$			
RJ 型金属膜电阻	0.125	$30 \sim 510 \times 10^3$	$\pm(6 \sim 10) \times 10^{-4}$	1~4	10 MHz 以下
	0.25	$30 \sim 1 \times 10^6$			
	0.5	$30 \sim 5.1 \times 10^6$			
	1.2	$30 \sim 10 \times 10^6$			
RXYC 型线绕电阻	2.5~100	$5.1 \sim 56 \times 10^6$			低频
WTH 型碳膜电位器	0.5~2	$470 \sim 4.7 \times 10^6$	$\pm(10 \sim 20) \times 10^{-4}$	5~10	几百 kHz 以下
WX 型线绕电位器	1~3	$10 \sim 20 \times 10^3$			低频

当运用频率为 10 MHz 以上时,电阻的分布参数对电路特性的影响更加显著。

6. 电阻器的极限工作电压

电阻器两端的耐压也是有限度的,当加于电阻器的电压超过极限工作电压时,即使没有超过它的额定功率,也会产生击穿和表面飞弧现象而损坏。一般说来,极限工作电压 U 由阻值 R 和额定功率 P 决定,即:

$$U = \sqrt{PB}$$

对于阻值较高的电阻,手册中给出的极限工作电压小于上式的计算值,使用时必须注意。

1.1.4 阻值和误差的标注方法

1. 直标法

将电阻的主要参数和技术性能用数字或字母直接标注在电阻体上。对小于 $1\,000\ \Omega$ 的阻值只标出数值,不标单位;对 $\text{k}\Omega$ 、 $\text{M}\Omega$ 只标注 k、M。精度等级标 I 或 II 级,III 级不标明,如图 1-3 所示。

2. 文字符号法

将数字与特殊符号两者有规律组合起来表示电阻的主要参数。常见符号有 M、k、R。如 4k7(4.7 k Ω), 3R3(3.3 Ω), 如图 1-4 所示。

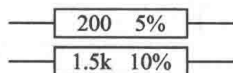


图 1-3 直标法

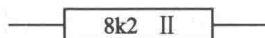


图 1-4 文字符号法

3. 数码法

用 3 位数字表示元件的标称值。从左至右, 前两位表示有效数位, 第 3 位表示 10^n ($n=0\sim 8$)。当 $n=9$ 时为特例, 表示 10^{-1} 。而标志是 0 或 000 的电阻器, 表示是跳线, 阻值为 0 Ω 。贴片电阻多用数码法标注, 数码法标注时, 电阻单位为 Ω , 例如: 471 表示 470 Ω , 105 表示 1 M Ω , 512 表示 5.1 k Ω 。

0~10 Ω 带小数点电阻值表示为 XRX, RXX, 例如: 2R2 表示 2.2 Ω 。

4. 色环标注法

对体积很小的电阻和一些合成电阻, 其阻值和误差常用不同颜色的色环来标注, 色环标注法有 4 环和 5 环两种。普通电阻一般用 4 环表示, 精密电阻用 5 环表示。

4 环电阻的一端有 4 道色环, 前两道色环表示两位有效数字; 第 3 道环表示 10 的乘方数 (10^n , n 为颜色所表示的数字); 第 4 道环表示允许误差, 由于表示误差的色环只有金色或银色, 色环中的金色或银色一定是第 4 环。若无第 4 道色环, 则误差为 $\pm 20\%$ 。色环电阻的单位一律为 Ω 。

5 环电阻用 5 道色环标注, 前 3 道色环表示 3 位有效数字; 第 4 道色环表示 10^n (n 为颜色所代表的数字); 第 5 道色环表示阻值的允许误差。

在读色环电阻时, 应正确识别第 1 色环, 一般第 1 色环距电阻头较近, 如图 1-5 所示。

$$\text{阻值} = \text{有效数字} \times \text{倍率}$$

允许误差直接由允许误差环读出。

注: 有的电阻表面只有 3 道色环, 这个电阻其实用的是 4 道色环表示法, 只不过它的允许误差环为本色, 即允许误差为 $\pm 20\%$ 。

固定电阻的色环举例:

标称阻值为 27 000 Ω , 允许误差 $\pm 5\%$, 其表示为红紫橙金;

标称阻值为 17.5 Ω , 允许误差 $\pm 1\%$, 其表示为棕紫绿金棕;

标称阻值为 47 000 Ω , 允许误差 $\pm 20\%$, 其表示为黄紫橙。

1.1.5 常用电阻器

1. 电位器

电位器是一种机电元件, 靠电刷在电阻体上的滑动, 取得与电刷位移成一定关系的输出电压。

① 合成碳膜电位器。电阻体是用经过研磨的碳黑、石墨、石英等材料涂敷于基体表面而成, 该种电位器工艺简单, 是目前应用最广泛的电位器。其优点是分辨力高耐磨性好, 寿命较长; 缺点是有电流噪声, 非线性大, 耐潮性以及阻值稳定性差。

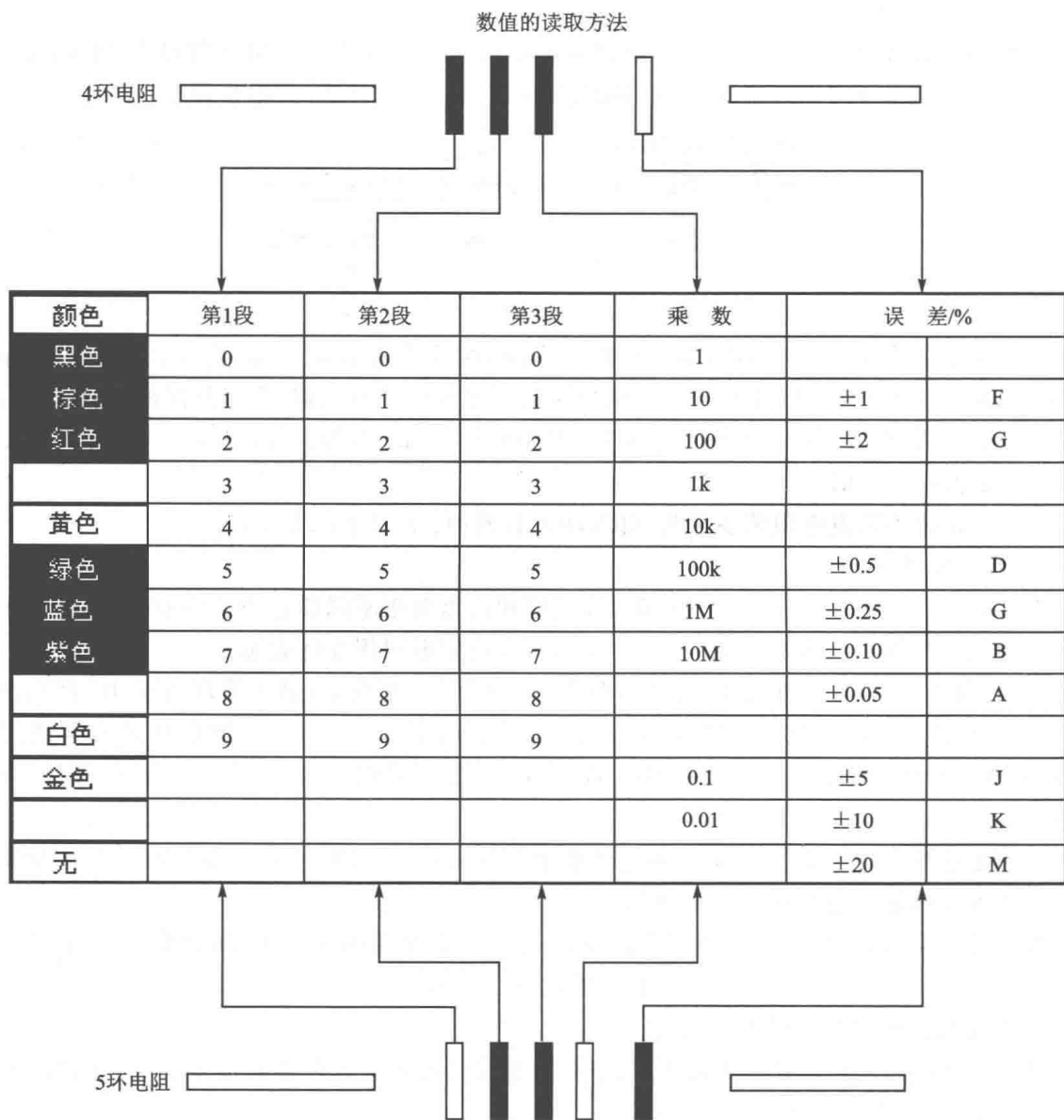


图 1-5 色环颜色所表示的有效数字和允许误差

② 有机实心电位器。有机实心电位器是一种新型电位器,它是用加热塑压的方法,将有机电阻粉压在绝缘体的凹槽内。有机实心电位器与碳膜电位器相比具有耐热性好、功率大、可靠性高、耐磨性好的优点。但温度系数大、动噪声大、耐潮性能差、制造工艺复杂以及阻值精度较差。该电位器在小型化、高可靠性、高耐磨性的电子设备以及交、直流电路中用做调节电压和电流。

③ 金属玻璃铀电位器。该电位器用丝网印刷法按照一定图形,将金属玻璃铀电阻浆料涂覆在陶瓷基体上,经高温烧结而成。其特点是阻值范围宽、耐热性好、过载能力强、耐潮、耐磨等都很好,是很有前途的电位器品种;其缺点是接触电阻和电流噪声大。

④ 绕线电位器。绕线电位器是将康铜丝或镍铬合金丝作为电阻体,并把它绕在绝缘骨架